Les systèmes de production intégrés

Philippe VIAUX
ITCF
Station expérimentale, Boigneville 91720 Maisse

Résumé : *La production agricole en grande culture a eu, au cours des dernières décennies, de plus en plus d'impact sur l'environnement. Cet article propose un système de production - le système intégré - qui se situe entre l'approche conventionnelle et l'agriculture biologique. Ce système est basé sur une approche globale de l'exploitation qui s'attache à la rotation, au choix variétal, en tenant compte de la qualité et de la sensibilité aux maladies, des dates et des densités de semis, d'une protection des cultures en fonction des niveaux d'infestation et des stades des cultures, d'une fertilisation adaptée aux potentialités du sol et aux besoins de la plante. Des résultats expérimentaux (faisabilité technique, impact économique et environnemental) sont présentés, fondés sur un réseau d'essais européens démarré en 1990, et plus particulièrement sur des résultats obtenus sur quatre sites en France.*

Mots clés : *production intégrée, système de production, faible intrant, grandes cultures, environnement, Europe de l'Ouest.*

Abstract : *Conventional arable production has increased its environmental impact during the last decade. This paper proposes IFS (integrated farming system) as an alternative between conventional and organic farming. These systems require an holistic approach of the crop production with special attention on rotation, cultivars, according to their disease sensibility and quality, sowing dates and densities, crop protection, adjusted to disease populations and crop stages, fertilisation, adapted to soil potentials and plant needs. Some experimental results (technical feasibility, economic and environmental impacts) are presented, based on an European network started in 1990 and more precisely on 4 French experimental sites.*

Key-words : *integrated farming, farming system, low input, arable crop, environment, Western Europe.*

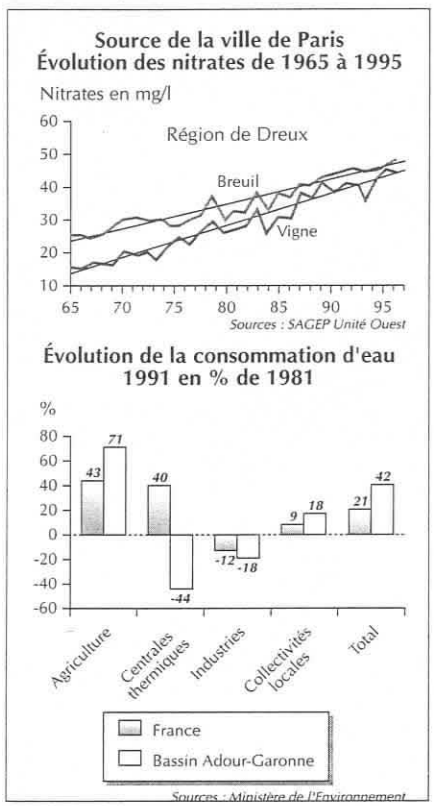
Introduction

L'évolution de l'agriculture des quarante dernières années a conduit à une augmentation très importante de la production agricole française (mais aussi mondiale). Pour la France, cette intensification a consisté à augmenter d'une part la productivité du sol (les rendements ont été multipliés environ par 2), d'autre part la productivité du travail (multipliée par un facteur 5) en raison du développement de la mécanisation (mais au prix d'une faible rentabilité des capitaux investis) [1]. Les succès du développement agricole ont permis de faire de la France une grande puissance agricole.

On sait néanmoins aussi que cette croissance de la production ne s'est pas faite sans impact sur l'environnement. Un bilan de cet impact a récemment été publié par l'IFEN (Institut français de l'environnement) [2]. Ainsi, on constate une dégradation de la qualité de l'eau par les nitrates (*figure 1*) [3], les phosphates et les pesticides. L'agriculture contribue à la dégradation de la qualité de l'air à cause des gaz à effet de serre (CO_2, CH_4, N_20), des gaz favorisant les pluies acides (NH_4), enfin par la présence d'aérosols de pesticides. L'érosion, qui s'aggrave dans certaines régions françaises, entraîne le développement de coulées boueuses avec un impact sur la qualité de l'eau : la turbidité et l'eutrophisation, mais aussi un impact sur la qualité des sols par perte d'éléments fins, de matière organique et de fertilisants. L'agriculture consomme de plus en plus de ressources naturelles non renouvelables (énergie, fertilisants). On constate aussi une consommation croissante d'eau pour l'irrigation, au point de créer des problèmes pour les autres usagers des ressources en eau (*figure 1*). Enfin, on doit s'interroger sur l'impact qu'a la disparition des éléments fixes du paysage (haies, bosquets, chemins, bandes enherbées) sur la qualité des sols, sur la pollution de l'eau, sur la faune et sur la flore, ainsi que sur l'esthétique des zones rurales. Certains aspects négatifs de l'agriculture moderne pourraient être évités par une gestion plus «durable».

Parallèlement à cette intensification de l'agriculture, fondée sur l'utilisation de produits chimiques de synthèse (engrais et pesticides), il s'est développé une forme de résistance militante à ce type de développement : l'agriculture biologique. Cette technique de production est restée longtemps marginale (0,3 % de la production agricole en France jusqu'en 1996) et marginalisée. Aujourd'hui, pour différentes raisons (impact de l'agriculture conventionnelle sur l'environnement et sur la qualité des produits), elle est en plein essor avec une demande qui croît exponentiellement (triplement de la demande entre 1996 et 1997). Ainsi, certains pensent que ce sera dans le futur la seule voie de production acceptable. Pourtant, en l'état actuel de nos connaissances, l'agriculture biologique entraîne une baisse de la production agricole d'environ 40 %, avec une augmentation des coûts alimentaires pour les consommateurs. La généralisation à tout le territoire de l'agriculture biologique n'est donc pas réaliste.

Figure 1. *Impact de l'agriculture sur l'environnement : exemple de deux indicateurs.*



Entre une agriculture intensive, peu préoccupée par l'environnement, et l'agriculture biologique existe-t-il une voie médiane ? [4] Avant de prouver que cette troisième voie est possible, nous nous proposons de montrer comment les pratiques actuelles entraînent les agriculteurs dans un engrenage qui les conduit à avoir recours de plus en plus systématiquement à l'agrochimie et à des pratiques dangereuses pour l'environnement.

Les techniques culturales actuelles : des pratiques «à risque»

Avec l'apparition de la chimie de synthèse à partir du milieu du XX^e siècle, il est devenu de plus en plus facile de fertiliser les cultures, de lutter contre les parasites des végétaux. Ces produits ont d'abord été utilisés pour corriger des carences ou pour éviter la destruction des récoltes. Mais leurs facilités d'utilisation, leurs performances et leurs faibles coûts ont entraîné petit à petit les agriculteurs à faire un usage systématique de ceux-ci. Cette évolution s'est faite insensiblement, si bien que les agriculteurs en ont oublié que certaines pratiques culturales étaient justifiées pour éviter des maladies ou favoriser la fertilité du sol.

L'abandon de la notion de rotation

L'abandon par la majorité des agriculteurs des rotations (au point que l'on n'ose plus parler actuellement que de succession de cultures) est probablement la pratique actuelle qui a, indirectement, le plus de conséquences graves sur le plan agronomique. On a vu se développer au cours des trente dernières années des monocultures de maïs ou de blé, voire de tournesol, ainsi que des cultures de pois ou de colza tous les deux ans. Ces prouesses techniques ne sont devenues possibles que parce qu'il existe des fongicides, des insecticides et des herbicides de plus en plus efficaces. Mais, inversement, le fait d'avoir des rotations de plus en plus courtes «oblige» les agriculteurs à avoir de plus en plus recours à ces produits chimiques. Le cas de la monoculture de blé tendre est éloquent : ce qui limite l'extension de cette pratique, c'est le développement d'une maladie des racines, le piétin échaudage, contre laquelle on ne dispose pas encore en France de produit efficace. Si une telle molécule apparaissait sur le marché, la pratique du blé sur blé se développerait avec l'utilisation de ce produit.

Les rotations longues permettent de mieux maîtriser les problèmes sanitaires en diminuant les risques de maladies liées à la parcelle (au sol). Elles permettent aussi de mieux maîtriser les problèmes de mauvaises herbes en évitant la spécialisation de la flore. D'une manière générale, elles limitent le recours systématique aux pesticides.

Les rotations longues limitent aussi les besoins en fertilisation chimique dans la mesure où les différentes cultures sont capables de recycler, voire d'extraire, différents fertilisants du sol. L'introduction de légumineuses permet de faire

des économies d'azote mais aussi, de ce fait, de minimiser la consommation d'énergie (rappelons que dans une exploitation céréalière, environ 50 % de l'énergie est consommée sous forme d'engrais azotés).

Des pratiques culturales qui favorisent les maladies

Il existe d'autres pratiques favorisant les maladies. Le blé, par exemple, est d'autant plus atteint par les maladies que les semis sont réalisés tôt à l'automne, avec des densités élevées, que la variété est sensible, et que la dose d'azote est importante. Ainsi, les risques d'attaques de rouille brune augmentent avec les semis précoces (avant le 15/11) dans le nord de la France. Inversement, en réduisant les doses d'azote de 40 kg/ha, on fait significativement baisser les attaques de rouille brune ou d'oïdium.
Pour limiter le développement des maladies, agriculteurs ou techniciens proposent en priorité de recourir aux fongicides. Éventuellement, on évoque le choix d'une variété tolérante, à condition que cette dernière ait le même potentiel de rendement. Mais les autres méthodes de lutte – semis plus tardifs, plus clairs, limitation de la dose d'azote – sont généralement inconnues.
Chaque espèce a, bien entendu, ses propres maladies et toutes les maladies ne sont pas sensibles de la même façon aux doses d'azote ou aux dates de semis, mais ce qui est vrai pour le blé d'hiver est néanmoins pratiquement vrai pour toutes les cultures, et il existe très souvent des moyens pour limiter le développement des maladies sans avoir recours aux fongicides. Ces méthodes sont malheureusement largement méconnues des agriculteurs et des techniciens.

L'accroissement de la dimension des parcelles

Parmi les autres techniques qui favorisent le recours à des produits phytosanitaires, il y a l'accroissement de la dimension des parcelles et la spécialisation des régions dans certaines cultures. Les parasites et les maladies qui se propagent par voies aériennes se répandent d'autant plus vite que le milieu est homogène. Les plantes qui ne sont pas hôtes pour le parasite ou la maladie sont des freins naturels à sa propagation. Or, gagner quelques jours dans l'apparition d'une maladie ou d'un ravageur peut suffire à dépasser un stade critique et donc éviter un traitement.
Dans les zones même légèrement en pente, l'accroissement de la taille des parcelles a aussi des effets agronomiques importants. Il augmente les risques d'érosion et, par conséquent, il peut entraîner des pertes de fertilité des sols dans le haut des pentes. Lors de certains épisodes pluvieux, on observe aussi ponctuellement des pertes de rendement par arrachement de plantes ou des recouvrements en bas de pentes.
L'accroissement des parcelles conduit aussi à augmenter l'hétérogénéité intra-parcellaire. Les agriculteurs sont amenés à conduire de manière homogène l'ensemble de ces parcelles, mettant trop d'intrants dans certains endroits, pas assez dans d'autres.

La surveillance des cultures demande de la compétence et du temps

Le recours systématique aux traitements pesticides peut aussi être évité en surveillant les cultures et en appliquant des seuils d'intervention. Néanmoins, ces méthodes demandent du temps pour les observations. L'accroissement rapide des tailles d'exploitation, lié à la recherche d'une plus grande productivité du travail, ne favorise pas le recours à de telles pratiques. Au contraire, on assiste de plus en plus dans ces grandes exploitations à l'utilisation de traitements *a priori*. Sur le plan strictement économique, quand on compare le coût d'un traitement raisonné, en incluant le temps passé à la surveillance de la culture, par rapport à celui d'un traitement systématique, ce choix n'est pas aberrant. Il n'est cependant pas sans inconvénient pour l'environnement, comme nous le verrons plus loin.

L'apparition de résistance

Les traitements systématiques et généralisés sur de grandes surfaces ont fait apparaître des phénomènes de résistance. Ce phénomène est connu et a été étudié en particulier avec l'apparition de résistance au DDT des moustiques. Les exemples se sont multipliés ces dernières années avec tous les types de produits. Pour les herbicides, l'exemple de l'atrazine est connu (une dizaine de plantes sont devenues résistantes à cet herbicide), mais on voit aussi apparaître des graminées (ray-grass et vulpin) résistantes à l'isoproturon. Avec les fongicides, il existe des exemples de résistance sur vigne et sur grandes cultures. L'apparition de résistances aux fongicides peut être extrêmement rapide en raison des cycles de multiplication relativement courts de ces champignons. Par exemple, le prochloraze, qui était relativement efficace en 1989 contre le piétin verse du blé (une maladie du pied), a vu son efficacité fortement réduite en 5 ans.

La diminution du nombre de variétés cultivées

Parmi les pratiques à risques, on voit apparaître de plus en plus une baisse de la diversité génétique. Dans le domaine des grandes cultures, la diffusion rapide des informations techniques et les efforts de marketing des sociétés de semences font qu'une variété «à la mode» peut couvrir certaines années jusqu'à 60 % de la sole française pour certaines cultures (par exemple la variété de blé Soisson). Cette stratégie est à éviter car elle augmente l'incidence économique d'inévitables accidents sanitaires ou physiologiques (exemple : la variété Joss avec la rouille jaune en 1975, la variété Moulin en 1987 – accident physiologique ayant, dans certaines régions entraîné des rendements de l'ordre de 15q/ha).
Sans rejeter en bloc les nouveautés techniques, il importe de s'interroger sur l'utilisation qui peut en être faite par les agriculteurs. Est-il possible de concevoir une agriculture performante, respectueuse de l'environnement et produisant des produits sains et de qualité, sans bannir le recours aux produits chimiques de synthèse ?

Les principes généraux de fonctionnement des systèmes intégrés

Un certain nombre de chercheurs ont essayé de répondre à cette question en proposant le concept de «système intégré». Ce concept, qui n'est pas nouveau, a été développé dès les années cinquante en arboriculture fruitière. Plus récemment, il a été proposé pour la vigne [5] et pour les grandes cultures [6, 7]. On peut donner la définition suivante d'un système intégré [8] :
«*Un système intégré correspond à une approche globale de l'utilisation du sol pour la production agricole, qui cherche à réduire l'utilisation d'intrants extérieurs à l'exploitation (énergie, produits chimiques), en valorisant au mieux les ressources naturelles et en mettant à profit des processus naturels de régulation*».
La mise en oeuvre de cette définition devrait conduire à une agriculture plus autonome, plus économe et plus respectueuse de l'envi-

Tableau 1. *Tableau d'aide au choix des précédents culturaux*.*

	Précédents											
Cultures	blé tendre	Blé dur	Orge hiver	Orge printemps	Maïs	Betterave	Colza	Tournesol	Pomme de terre	Pois	Soja	Prairie
Blé tendre	5	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Blé dur	4	5	4	3	3	2	1	2	1	1	1	1
Orge hiver	1	2	5	3	5	5	2	3	3	3	3	2
Orge printemps	1	1	2	4	2	2	2	2	3	3	3	3
Maïs	1	1	1	1	3	4	4	3	4	3	3	1
Betterave	1	1	1	1	4	5	5	3	2	2	2	3
Colza	2	2	1	1	5	5	5	5	3	4	4	3
Tournesol	1	1	1	1	2	2	4	4	4	3	3	3
Pomme de terre	1	1	1	1	3	3	3	3	5	3	3	2
Pois	1	1	1	2	3	3	4	4	3	5	5	4
Soja	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	5	4
Prairie	1	1	1	1	3	3	1	3	2	1	3	4

*Appréciations tenant compte des aspects : protection des cultures, azote, et alternance de systèmes racinaires superficiels et profonds
1 = Très bon : bonne valorisation du précédent cultural et optimum du point de vue sanitaire.
2 = Bon : généralement pas de problème sanitaire, mais mauvaise valorisation du précédent.
3 = Moyen : quelques problèmes sanitaires et très mauvaise valorisation du précédent
4 = Mauvais ou à éviter
5 = Très mauvais ou impossible techniquement (cas des précédents à récolte tardive)
Fréquence de retour : choisir la rotation la plus longue possible ; 3 ans est souvent un minimum. Des rotations plus courtes sont pour certaines cultures possibles, mais entraînent des surcoûts en azote et en produits phytosanitaires.

ronnement. Rappelons que J. Poly – ancien PDG de l'INRA – proposait déjà il y a 20 ans ces deux premiers objectifs à l'agriculture française [9].

Avant d'aborder les pratiques culturales qu'induit cette définition, il faut préciser ce que l'on entend par *«valoriser au mieux les ressources naturelles et les processus naturels de régulation»*.

Par cette phrase, on veut insister sur le fait qu'il existe dans la nature des mécanismes que nous oublions d'utiliser à notre profit. Ces mécanismes sont sous-estimés, voire ignorés, mais sont bien réels. Un arbre est une formidable machine pour recycler des éléments minéraux, grâce à la puissance de ses racines et la chute des feuilles. De même, mais dans une moindre mesure, certaines cultures comme le blé, qui ont un puissant système racinaire, recyclent des quantités importantes de potasse par l'intermédiaire de la paille.

Les parasites phytophages, «les ravageurs», ont presque toujours des prédateurs naturels. Certains carabes mangent des pucerons ou des limaces, les coccinelles ou les syrphes (diptères) consomment des pucerons, etc.

Pour valoriser au mieux les ressources naturelles et les mécanismes régulateurs dont il vient d'être question, cela suppose de maintenir, voire de redévelopper des systèmes de production mixte. Il faut entendre ce terme au sens le plus large, c'est-à-dire considérer une exploitation mixte comme une exploitation sur laquelle il y a différentes formes de production : productions végétales annuelles, productions végétales pérennes (forêt, arbres fruitiers, prairies, etc.), productions animales (herbivores ou monogastriques).

Cette mixité s'entend soit au sein d'une même exploitation, soit au niveau d'un petit territoire. En effet, cette mixité est un moyen de limiter les risques économiques pour l'agriculteur qui peut ainsi tamponner les aléas liés à des années de mauvaises récoltes, les variations de prix, voire des changements de politique agricole induisant des variations du niveau des aides. Par ailleurs, c'est le seul moyen de valoriser de manière correcte les déjections animales, ainsi que d'utiliser les résidus de récolte (pailles, fanes de pois, pulpes de betteraves, etc.).

La complexité de mise en œuvre de cette proposition est évidente, car elle s'oppose à la spécialisation historique des régions (très importante en France durant les trente dernières années), consécutive à des considérations économiques et structurelles. Néanmoins, cette spécialisation a ses limites et, par exemple, les contraintes environnementales risquent d'obliger certaines régions à se désengager au moins partiellement de certaines productions hors sol, comme la production porcine, ce qui doit permettre à d'autres régions de développer cette production.

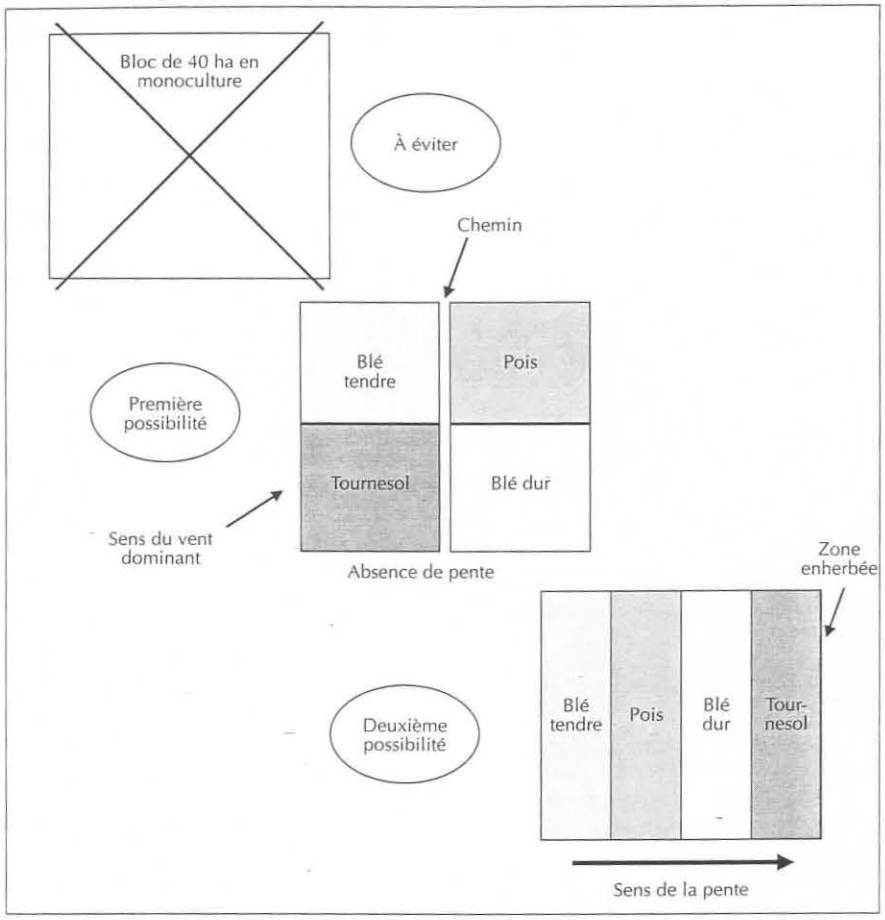
Les pratiques culturales

Concrètement, la définition et les principes énoncés plus haut aboutissent à intégrer dans la conduite de l'exploitation un ensemble de pratiques cohérentes avec les objectifs. La majorité d'entre elles sont connues et relèvent de la «bonne agronomie». D'autres doivent être encore validées (*tableau 1*).

1) Une diversification des cultures : l'importance de la rotation

Il s'agit de construire des rotations à vocations multiples, minimisant les problèmes sanitaires en faisant alterner des familles différentes et des espèces différentes, minimisant la consommation d'énergie, d'engrais, de produits phytosanitaires, ainsi que les risques éco-

Figure 2. *Exemple de découpage de parcelles.*



nomiques liés aux aléas climatiques (variation de rendements) et économiques (variation de prix).

Pour cela, il est souvent nécessaire d'allonger les rotations : 3 ans est un minimum, 5 ans, en incluant des légumineuses, est souvent possible dans les zones de grandes cultures. Dans les exploitations avec élevage, il est possible d'avoir des rotations encore plus longues grâce aux cultures fourragères.

L'introduction de légumineuses permet de faire des économies d'azote mais aussi, de ce fait, de minimiser la consommation d'énergie (rappelons que dans une exploitation céréalière, environ 50 % de l'énergie est consommée sous forme d'engrais azotés). Une légumineuse doit être suivie soit par une culture intermédiaire, soit par une culture d'hiver.

Enfin, il faut noter que laisser un sol nu en été (jachère, cultures d'hiver récoltées tôt – dans le sud de la France par exemple – etc.) n'est pas sans risque agronomique et environnemental. Les phénomènes d'érosion sont souvent plus importants, avec un orage d'été sur sol sec, qu'en hiver. De plus, un sol nu humide minéralise beaucoup d'azote en été, et il sera toujours très difficile de capter tout cet azote en automne, même avec une culture d'hiver.

Afin d'éviter la fuite des nitrates, il est souhaitable sous nos climats qu'au moins 65 % de la sole porte un couvert végétal hivernal, ce qui peut être réalisé par des cultures intermédiaires ou, mieux, par une rotation équilibrée faisant alterner cultures d'hiver et cultures de printemps ou d'été. Compte tenu du coût d'implantation et d'entretien d'une culture intermédiaire (500 à 700 F/ha), il est souvent plus judicieux de modifier la rotation en introduisant une culture d'hiver, même un peu moins rentable qu'une culture d'été, plutôt que de cultiver des cultures d'été avec une culture intermédiaire pour couvrir le sol en hiver.

Pour conclure sur ce thème, il faut insister sur le fait qu'il n'existe pas de cultures miracles qui ne pollueraient pas et d'autres qui seraient néfastes pour l'environnement : c'est, globalement, la rotation qui est plus ou moins bien conçue. Le choix de la rotation est le point clé des systèmes intégrés !

2) Des parcelles culturales de dimension raisonnable et de forme adaptée

La dimension des parcelles devrait être un compromis entre une bonne valorisation du travail et la recherche d'une certaine variabilité d'espèces cultivées dans l'espace.

L'intérêt de limiter la dimension des parcelles réside dans la prévention des risques sanitaires. De nombreuses maladies et certains parasites, transmis par voie aérienne, voient leur vitesse de propagation ralentie par une répartition judicieuse des cultures dans l'espace. La notion d'assolement prend dans ce cas tout son sens.

Une des limites «naturelles» à la dimension des parcelles devrait être de garder une certaine homogénéité intra-parcellaire. En effet, plus une parcelle est grande, plus elle risque d'être hétérogène. Or, sur une parcelle hétérogène, il est très difficile d'ajuster le niveau d'intrants aux besoins de la culture et à la nature du sol. Ceci est particulièrement vrai pour l'azote ou pour l'eau d'irrigation sur des sols de profondeurs variables. Mais des variations de teneur en argile ou en matière organique peuvent justifier aussi des doses différenciées d'herbicides ou de doses d'engrais phospho-potassique.

Il faut s'attacher autant au choix de la forme de la parcelle (*figure 2*) qu'à sa dimension, en tenant compte des pentes (pour limiter l'érosion et le lessivage des nitrates et des pesticides), du vent dominant qui propage certains champignons et certains parasites, etc.

L'agrandissement des parcelles est souvent justifié pour améliorer l'efficacité du travail. On s'aperçoit néanmoins que certains agriculteurs ont tendance à aller au-delà du raisonnable dans ce domaine : une bonne limite à se fixer est d'estimer la surface maximum que l'on peut semer en 4 ou 5 heures (une demi-journée de travail).

3) Le maintien et l'entretien, voire l'aménagement, de structures paysagères : haies, bosquets, talus, fossés, bandes enherbées, etc.

Ces éléments de paysages constituent des «espaces naturels» non cultivés, mais entretenus, dont les fonctions peuvent être multiples. Ils permettent de maintenir la diversité

biologique (flore et faune) et, entre autres, de favoriser le développement des auxiliaires (carabidées, sylphidées, araignées, etc.). Ils ont également un rôle de régulation hydrique au niveau des bassins versants, en ralentissant la vitesse de concentration de l'eau (et donc en limitant les crues), un rôle de bandes anti-érosives, un rôle de protection des cours d'eau (*figure 3*) contre la pollution d'origine agricole (nitrates et pesticides), et, notamment pour les haies, un rôle de brise-vent et d'abri pour les animaux domestiques.

L'ensemble de ces «espaces naturels» doit faire l'objet d'un plan d'ensemble tenant compte d'un diagnostic d'exploitation mesurant les risques majeurs en matière d'environnement (protection des cours d'eau, risque d'érosion, etc.). Le plan d'ensemble doit tenir compte des arguments évoqués plus haut sur la forme et la dimension des parcelles. L'objectif est de créer un maillage du territoire.

Ces remarques ne remettent pas en cause l'intérêt du remembrement. Le regroupement des parcelles autour du siège de l'exploitation reste une méthode efficace pour améliorer la rationalité du travail d'un agriculteur et elle lui permet aussi de maîtriser plus efficacement la qualité de son environnement. Le remembrement devrait rester un outil important d'aménagement des territoires, à condition de ne pas faire table rase de l'existant et de respecter les haies, les chemins, les ruisseaux, etc., dont l'intérêt agronomique et environnemental a été diagnostiqué. On devrait utiliser la même approche que pour les vieux quartiers des villes où on est passé du «je rase tout et je reconstruis», à la notion de réhabilitation pour un habitat fonctionnel.

4) Viser un objectif de rendement inférieur ou égal au potentiel pédo-climatique accessible une année sur deux

Durant les dernières années, on a pu constater que, généralement, les agriculteurs choisissaient pour des raisons économiques un objectif de rendement voisin du maximum accessible. Ceci a pour inconvénient de conduire à appliquer des intrants dont une partie n'est valorisée qu'une ou deux années sur dix. Pour l'azote par exemple, choisir un objectif de rendement accessible une année sur deux permet d'utiliser, en moyenne, tout l'azote mis à la disposition des plantes et donc de limiter au maximum les risques de pertes par lessivage [10]. Cette proposition n'est valide que si elle maintient la rentabilité de la culture sur une série climatique. Le risque de moindre valorisation des bonnes années doit être, en moyenne, compensé par l'économie d'intrants.

Le choix d'un objectif de rendement plus faible pose deux problèmes aux agriculteurs. D'une part, ils pensent être pénalisés économiquement, mais des travaux récents montrent que ce n'est pas le cas. La baisse des rendements est compensée par une baisse des charges. D'autre part, les agriculteurs pensent généralement que les fongicides, les insecticides, etc. permettent de régulariser les rendements ; là encore, l'expérience prouve que ce n'est pas le cas et que la variabilité des rendements et des marges est plus faible quand on vise un rendement accessible au moins une année sur deux [11].

5) Limiter le recours à l'irrigation

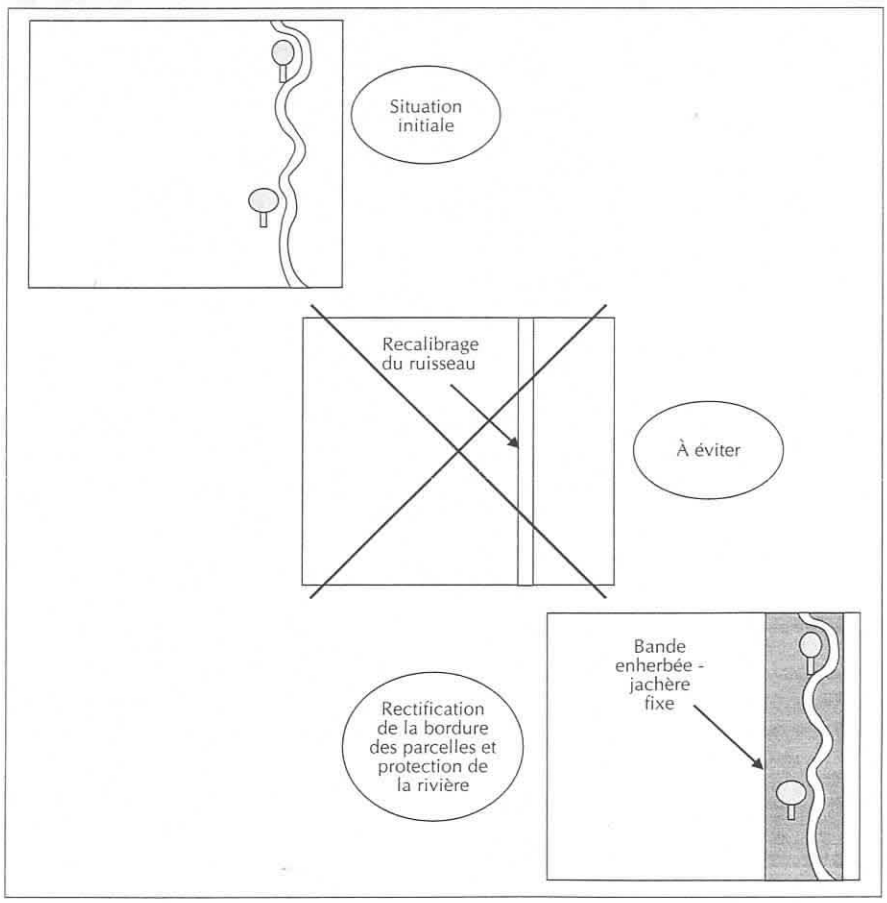
L'irrigation permet de régulariser les rendements et, dans certains cas, la qualité des produits. Dans l'optique d'une agriculture durable, il est important d'économiser au mieux cette ressource naturelle. Rappelons que, dans certaines régions françaises, plus de 90 % de l'eau disponible pendant l'été est utilisée par des irriguants. De plus, l'irrigation favorise certaines maladies (sclérotinia, septoriose...), entraîne une dégradation rapide de la matière organique des sols et rend les sols plus sensibles au tassement.

Économiser l'eau passe par plusieurs aspects : choix des cultures, quantité d'eau apportée, régularité de l'irrigation. Dans les régions où l'eau est un facteur limitant important des cultures, il faut choisir en priorité des cultures d'hiver qui bénéficient, sous nos climats, des pluies hivernales et ne justifient généralement pas d'avoir recours à l'irrigation.

Pour les cultures de printemps et d'été, on choisira des cultures peu exigeantes en eau. Ainsi, on évitera, ou on limitera, la sole de maïs et de soja que l'on pourra remplacer par du sorgho et du tournesol.

En calant les périodes d'irrigation sur la période la plus exigeante du cycle de la culture et en arrêtant l'irrigation suffisamment tôt, il est possible de n'irriguer qu'à 80 % de l'ETM tout en minimisant la baisse de rendement.

Figure 3. *Aménagement de bordure de ruisseau.*



Les apports d'eau sont réalisés majoritairement sur des sols de profondeur hétérogène. Par ailleurs, le matériel d'irrigation ne permet pas de faire des apports homogènes sur la parcelle, surtout en présence de vent. Ceci conduit le plus souvent à de la sur-irrigation sur certaines zones des parcelles. Les canons à eau sont particulièrement concernés par cette remarque, mais l'utilisation de pivots ne résout pas tout le problème car ils couvrent de grandes parcelles et augmentent le risque d'hétérogénéité lié au sol. Le réglage du matériel et la limitation des quantités apportées à chaque passage permettent de limiter en partie le risque de sur-irrigation ponctuelle.

6) Un travail du sol simplifié

Dans l'esprit des systèmes intégrés, les techniques simplifiées visent surtout la suppression du retournement du sol par le labour. Plusieurs objectifs sont poursuivis. Il s'agit de permettre d'améliorer la teneur en matière organique en surface, d'augmenter l'activité biologique de surface, de diminuer le lessivage de l'azote, de freiner l'érosion, de réduire les consommations de fuel et les charges de mécanisation [12].

Néanmoins, l'utilisation des techniques de travail du sol simplifié pose le problème du développement d'adventices. Ce problème est bien connu pour les vivaces, mais on observe aussi le développement de certaines espèces d'annuelles : gaillets, bromes, etc., qui peuvent poser de réels problèmes de maîtrise. Ainsi, la simplification du travail du sol nécessite parfois d'avoir recours plus souvent aux herbicides, ce qui pourrait paraître contradictoire avec l'idée de base visant à réduire l'utilisation de produits phytosanitaires.

Les essais réalisés ces dernières années dans ce domaine ont montré l'importance d'une bonne gestion de l'interculture pour limiter le risque de développement des adventices et de limiter ainsi le recours aux herbicides. C'est en effet durant l'interculture que l'on peut efficacement lutter contre les adventices soit par des procédés mécaniques (par exemple : déchaumage et roulage = un faux semis), soit par des méthodes chimiques (en particulier pour les vivaces) en alternance avec des méthodes mécaniques.

L'allongement des rotations, dont il a été question plus haut, devrait permettre de limiter aussi les risques. Dans certains cas, on pourra être amené à introduire un labour dans la rotation pour maîtriser ce problème d'adventices, en se souvenant néanmoins qu'une grande partie de l'intérêt agronomique des techniques simplifiées sera perdue à chaque labour.

7) Une adaptation de la fertilisation

Les niveaux de fertilisation doivent être basés sur des bilans matières (N total, P, K, etc.), au niveau de l'exploitation et au niveau des parcelles. Ces bilans «entrées-sorties» doivent être équilibrés et ne jamais dépasser en situation de croisière 100-110 % (voire moins dans certaines situations) des exportations globales hors de l'exploitation. Il faut rappeler qu'il est plus important de nourrir la plante que de nourrir le sol et que la notion de «vieille graisse» est aujourd'hui abandonnée par les agronomes.

La fertilisation azotée doit être ajustée en fonction de l'objectif de rendement tel qu'il a été défini plus haut. Le principe du calcul par la méthode du bilan est valable, avec quelques adaptations, pour toutes les cultures annuelles. L'objectif de rendement étant inférieur au potentiel pédo-climatique des meilleures années, celui-ci sera atteint plus souvent et, par conséquent, la quantité d'azote potentiellement lessivable sera diminuée.

En matière d'azote, pour les céréales à paille, il est important d'être attentif à l'incidence d'une baisse de la dose d'azote sur la teneur en protéine. Si l'ensemble de la conduite de culture n'est pas bien ajusté (voir ci-dessous), les risques d'avoir une teneur en protéines trop faible existent.

8) Les critères de choix des variétés, de la date et de la densité de semis

L'ensemble de ces choix s'inscrit dans la stratégie globale de la conduite de la culture et doit être cohérent avec l'objectif de rendement visé.

Le choix des variétés doit intégrer en priorité la résistance aux maladies et non le potentiel de rendement. La qualité doit aussi être un critère important de choix, auquel il faut rajouter les critères classiques de précocité, de résistance au froid, etc.

Les densités de semis doivent être calculées au plus juste. Rappelons que de nombreuses maladies sont favorisées par des densités de semis trop élevées (ceci a été démontré, entre autre, pour les maladies du pied des céréales à pailles ou pour certaines maladies du pois).

Les dates de semis ne doivent pas non plus être trop précoces, il faut rechercher un bon compromis entre de bonnes conditions d'implantation et le risque de favoriser le développement de maladies ou de mauvaises herbes qui nécessiteront l'utilisation importante de produits phytosanitaires.

9) Une réduction des traitements phytosanitaires

L'ensemble des pratiques décrites précédemment (choix adapté des rotations, des variétés, des dates et densités de semis, diminution de la dose d'azote, etc.) conduit globalement à limiter les risques de développement parasitaire : on aura donc un développement moindre, ou moins rapide, de mauvaises herbes, de maladies, de ravageurs. Le nombre d'interventions nécessaires aux cultures devrait donc se réduire.

Le cadre de décisions de ces traitements phytosanitaires se situe dans une logique de

Tableau 2. *Contribution de différentes pratiques culturales sur la durabilité des systèmes.*

	Durabilité environnementale			Durabilité économique	Durabilité agronomique
	Biodiversité	Pollution de l'eau	Ressources naturelles		
Mixité	+++	++	++	+++	+++
Rotation	+	+	+	++	++
Travail du sol	+ (sol)	+	++	+	+
Diminution parcelles- Assolement	++	+	0	0	+
Zone non cultivée	+++	++	0	0	+
Objectif du rendement	0	++	++	0	0
Variétés date densité	+	0	0	0	++
NPK	0	++	++	++	++
Protection des cultures	++	++	0	+	++

0 : Neutre, sans effet ou effet très faible
+ : Effet faible
++ : Effet moyen
+++ : Effet fort

Tableau 3. *Résultats technico-économiques de l'essai LIFE en Angleterre.*

Système	Rotation	Intrants F/ha	Rendements q/ha	Marges brutes F/ha
Conventionnel	Conventionnelle	2 015	64,0	4 621
	Intégrée	1 842	59,2	4 613
Intégré	Conventionnelle	1 359	57,6	4 915
	Intégrée	1 192	50,5	4 467

D'après LIFE : moyenne 1990-1994
Rotation : conventionnelle : Blé/Blé/Orge/Colza
Rotation : intégrée : Colza/Blé/Avoine/Féverolles/Blé

conduite raisonnée ; on parle plus souvent de «protection intégrée ou lutte intégrée» [13]. L'utilisation des produits phytosanitaires doit être considérée non comme un moyen de production, mais comme un recours possible. En cas d'apparition fréquente d'un problème sanitaire, il faudra toujours se poser la question de savoir si les pratiques culturales mises en œuvre sont bien adaptées au contexte. Dans la mesure du possible, les interventions seront décidées en présence des maladies ou des parasites, et non en préventif, en fonction des seuils de nuisibilité et/ou en utilisant au maximum les modèles de prévisions et les avertissements agricoles.

Quand on aura recours aux produits de traitements, on essaiera de choisir les produits ayant le minimum d'impact sur l'environnement. Ce choix étant difficile car de nombreux critères devraient être pris en compte (solubilité dans l'eau et les liquides organiques, rémanence, toxicité pour l'homme, pour les poissons et pour les crustacés, spécificité, etc.), il est conseillé de s'appuyer sur le diagnostic d'exploitation ou de territoire pour privilégier tel ou tel critère. Par exemple, dans un site où la protection des eaux est le facteur le plus important, on privilégiera le choix de molécule agissant par voie foliaire et peu rémanente (DT 50 < 100 jours par exemple). Si, au contraire, il s'agit de protéger la faune sauvage et les auxiliaires, on choisira plutôt des produits à spectres étroits et à faible toxicité.

Enfin, toujours dans le cas d'utilisation de produits phytosanitaires, on cherchera à traiter dans des conditions optimum (stades jeunes pour les adventices, conditions météo optimales, etc.) pour minimiser les doses d'emploi. De plus, on veillera au bon réglage des appareils de traitement et à l'utilisation correcte des fonds de cuves et des bidons vides.

En matière de désherbage, on peut concevoir des interventions mécaniques ou mixtes (mécaniques et chimiques), en particulier dans les zones de captage des eaux, ce qui suppose un matériel et des implantations adaptées.

Les conseils pratiques que l'on vient de présenter sont hiérarchisés de 1 à 9, ce qui fait qu'un conseil sera d'autant plus facile à appliquer que l'ensemble des conseils qui précèdent auront été appliqués. Cependant, chacune de ces pratiques a un poids plus ou moins grand dans la durabilité des systèmes de production. C'est ce que nous avons voulu exprimer au travers du *tableau 2*.

L'état de la recherche sur les systèmes intégrés en grandes cultures

Les systèmes intégrés ont été historiquement développés en arboriculture fruitière dans les années 1960. Les tenants de la lutte biologique s'étaient, en effet, rendu compte qu'il était impossible de maîtriser le parasitisme de ces cultures uniquement au moyen de la lutte biologique. Par contre, en combinant certaines pratiques agronomiques, la lutte biologique et, en dernier ressort, les produits phytosanitaires, ils parvenaient à réduire de manière substantielle l'utilisation de ces derniers. Aujourd'hui, de nombreux arboriculteurs appliquent ces techniques, dans le cadre, ou non, de groupement de producteurs. L'inconvénient majeur évoqué par ces agriculteurs est souvent la pression mentale qu'entraînent ces conduites de culture, car les décisions de traitements sont liées à la surveillance du développement des parasites et les erreurs peuvent avoir des répercussions économiques importantes.

Pour les grandes cultures, les premiers travaux de recherche entrepris sur ce thème datent d'une quinzaine d'années. Ils ont été réalisés en Allemagne à Lautenbach (près de Stuttgart) [14] et aux Pays-Bas à Nagele [15,16]. Puis progressivement, à partir de 1989, une quinzaine d'autres sites ont été mis en place dans six pays de l'Union européenne ainsi que dans certains autres pays européens.

Les pays ont mis en place de manière coordonnée, grâce à un programme de recherche européen, des dispositifs expérimentaux proches de l'échelle d'une exploitation agricole réelle (15 à 75 ha), avec des parcelles élémentaires de dimension importante : 1 à 5 ha. Ce choix est justifié, d'une part, pour pouvoir utiliser du matériel agricole standard, ce qui permet d'enregistrer des temps de travaux réels, les consommations de fuel et, d'une manière plus générale, de mesurer la faisabilité des différents systèmes étudiés. D'autre part, il permet de mesurer les effets des systèmes sur l'environnement [17,18].

Généralement, deux systèmes sont mis en comparaison :

- conventionnel : ce sont les pratiques habituelles des agriculteurs de la région : culture, rotation, niveau d'intrants, équipement ;
- intégré : ce système reprend les principes énoncés ci-dessus, ce qui se traduit par des rotations généralement plus longues, la simplification du travail du sol, l'utilisation de variétés résistantes, une baisse dans l'utilisation des engrais, de faibles doses d'herbicide et/ou l'utilisation de désherbage mécanique, une faible utilisation de fongicides et d'insecticides grâce à la valorisation des mécanismes naturels de régulation. Néanmoins, certains aspects qui concernent l'aménagement de l'espace (parcellaire, bande enherbée, etc.) ne peuvent pas vraiment être pris en compte dans ce type d'essai.

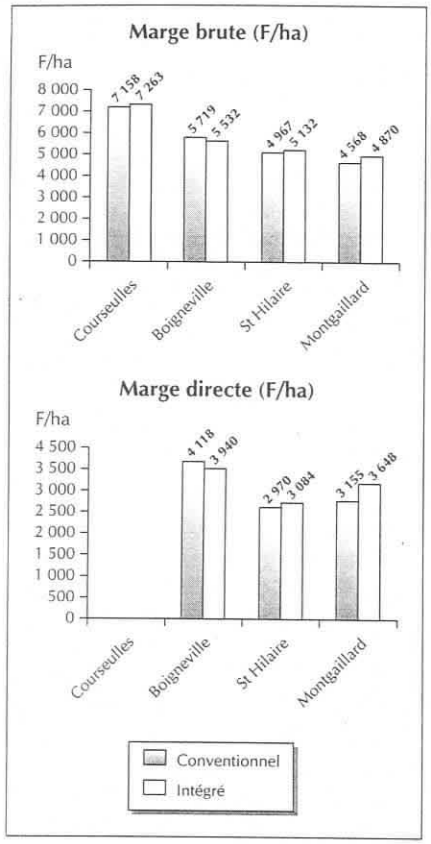
En Allemagne

Dans l'essai de Lautenbach, la réduction de pesticides est en moyenne de 27 % (en matière active) entre conventionnel et intégré. En ce qui concerne l'azote, une réduction importante a pu être obtenue sur les betteraves par la localisation de l'azote liquide sur les lignes de semis. Les marges brutes obtenues pour les deux systèmes sont équivalentes.

Au Royaume-Uni

L'essai est implanté près de Bristol [19]. La baisse de niveau d'intrants entre conventionnel et intégré est de 40 % pour l'azote, 28 % pour les herbicides, 80 % pour les fongicides, 61 % pour les régulateurs de croissance, et le système intégré n'a reçu aucun insecticide. Les rendements ont baissé en moyenne de 14 % et le niveau d'intrants a baissé en valeur de 31 %, ce qui entraîne une baisse de revenus de 6 % aux prix 1991. Dans cet essai, il existe une rotation conventionnelle et une rotation intégrée. Ce dispositif permet de mesurer l'intérêt d'une rotation intégrée par rapport à une rotation conventionnelle (*tableau 3*).

Figure 4. *Résultats économiques des systèmes (4 sites en France).*



En Hollande

Il s'agissait de développer des fermes pilotes appliquant les principes de l'agriculture intégrée. La première année a surtout consisté à mettre en place les infrastructures nécessaires, en particulier à faire évoluer la rotation à base de pomme de terre, d'oignons et de blé vers une rotation plus longue, couvrant mieux le sol en hiver. Au cours de cette première année, un enherbement des bordures de fossés a été réalisé pour limiter la pollution des eaux par les pesticides et les engrais.

Au Danemark

Trois essais ont été mis en place, avec dans certains cas un système organique (en France, on dirait biologique). Les premiers résultats montrent l'importance d'une très bonne maîtrise de la fumure organique qui est considérée comme le problème clé, aussi bien pour le système intégré que pour le système biologique. Rappelons que classiquement, au Danemark, on trouve beaucoup de systèmes céréales-porc. Le deuxième problème rencontré, et non totalement maîtrisé, est celui du désherbage.

En France

Quatre essais ont été implantés en collaboration avec l'ACTA dans des milieux pédo-climatiques très contrastés.

Site 1 : Courseulles en Normandie (ACTA), Plaine de Caen-Nord, avec deux types de sols :
- limons profonds ; rotation : betterave - blé - pois - blé ;
- argilo-calcaires ; rotation : pois - blé.

Site 2 : Boigneville, Bassin parisien (ITCF), avec deux types de sols :
- profonds ; rotation : pois - blé dur - blé tendre ;
- superficiels ; rotation : colza - blé - orge de printemps.

(Dans cette situation, la référence est déjà un système très optimisé).

Site 3 : Saint-Hilaire-en-Woëvre, Lorraine (ITCF) :
- sol profond ; rotation : colza - blé - orge de printemps ou escourgeon.

Site 4 : Montgaillard, Lauragais (ITCF), près de la station Inter-Instituts de Baziège :
- côteaux argilo-calcaires ; rotation initiale : tournesol - blé dur - pois d'hiver - blé.

L'étude est conduite en station dans les sites 2 et 3, et chez des agriculteurs dans les sites 1 et 4. Par commodité, les rotations sont identiques dans les deux systèmes. Elles sont représentatives de la pratique dans les exploitations sans élevage des régions concernées. Elles sont parfois un peu trop simplifiées pour être en accord avec le concept de production intégrée.

Le système intégré étudié doit répondre à plusieurs objectifs :
- être respectueux de l'environnement ;
- assurer la qualité et/ou les caractéristiques technologiques des produits ;
- être rentable de manière durable et, donc notamment, ne pas compromettre la fertilité des sols ;
- être assez facile à mettre en œuvre par l'agriculteur.

Dans la pratique, l'un des objectifs majeurs est de réduire fortement les intrants chimiques, engrais et surtout phytosanitaires (- 30 % par rapport aux pratiques usuelles). Les objectifs de rendement sont volontairement moins élevés (- 15 %) que dans la réfé-

Tableau 4. *Synthèse européenne sur l'impact des systèmes intégrés.*

	Économiques		Agronomiques							Environnement			
Nom du projet	Rendement	Marge brute	Azote	Herbicides	Fongicides	Insecticides	Régulateurs	Adventices	Ravageurs	Auxiliaires	Oiseaux Mammifères	Vers de terre	Activités biologiques du sol
Boxworth (UK)	–	–		–	–	–	=	+	+		o		
Scarab (UK)	–	+		–	–	–	=	+	=			o	o
Talisman (UK)	o	o		–	–	–	–	o	o	=			
Risc (UK)	o	o	–	–	–	–	–	o	o	o			
Life (UK)	–	+	–	–	–	–	–	+	=	+		+	=
Lautenbach (GE)	–	+	–	–	–	–	–	+	–	+		+	=
Intex (GE)	–			–	–	–	–	–		+			
Nagele (NL)	–	=	–	–	–	–	–	+		+	+	+	
Third Way (CH)	o	o	–	–	–	–	–	+	o	+	+	+	
Micro fermes (FR)	–	o	–	+	–	–	–	+	o				

+ = augmente ; - = diminue ; = = sans changement ; o = résultats variables
D'après JM. HOLLAND - 1994

rence. Les façons culturales sont simplifiées (pas de labour) en continu, sur les rotations. L'objectif est de créer des conditions favorables à l'activité biologique des sols, mais aussi de réduire les consommations d'intrants et les temps de travaux. On utilise au maximum la génétique (variétés peu sensibles...), les moyens agronomiques (densités de semis, etc.), les mécanismes de régulation naturelle dans les agro-écosystèmes.
Les itinéraires techniques, élaborés sur ces bases, ont évolué au cours des 6 années d'étude, à mesure de l'évolution de nos connaissances et de l'amélioration des stratégies. Les principaux résultats et les principales difficultés rencontrées sont présentés ci-après [20,21].

• *Travail simplifié du sol, en continu, sur les rotations*

L'objectif initial était de réduire la profondeur de travail du sol (travail du sol sans retournement) et le nombre de passages, avec la contrainte annexe de réduire l'utilisation des herbicides. C'était trop ambitieux, compte tenu de l'importance des résidus de cultures (pailles, cultures intermédiaires), d'où quelques échecs, essentiellement sur cultures de printemps, liés à des implantations défectueuses.
L'objectif incontournable est de disposer d'un sol propre (sans adventice) lors des semis. En conséquence, la stratégie de conduite des intercultures a été revue avec réintroduction de déchaumages, ce qui a permis d'atteindre l'objectif.
Les cultures intermédiaires ont été supprimées car elles perturbent la stratégie de conduite de l'interculture en l'absence de labour et rendent quasi impossible la lutte mécanique contre les vivaces et autres adventices durant l'interculture.

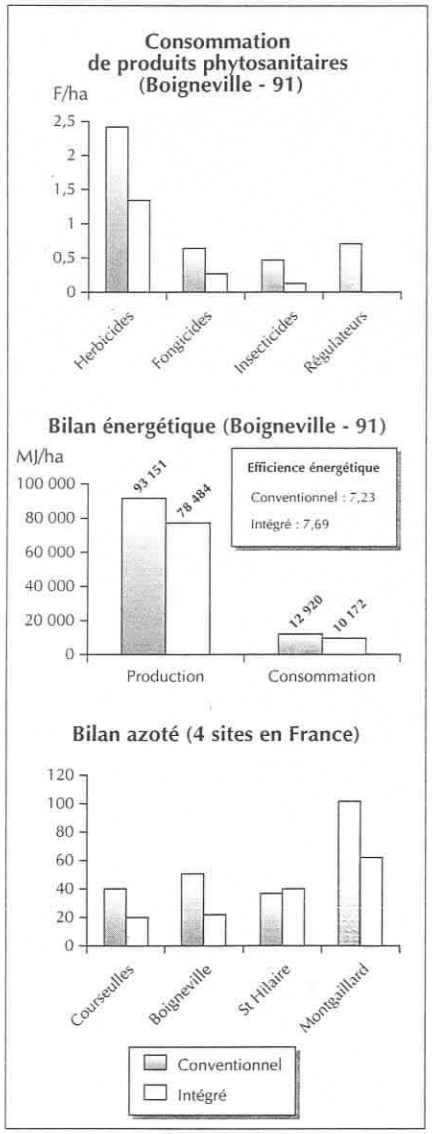
• *Maîtrise du désherbage*

Les règles initiales étaient insuffisamment contraignantes, ce qui a entraîné une dérive de l'enherbement, difficilement contrôlable, dans certaines parcelles.
D'où une réorientation des stratégies et l'application de règles de décisions beaucoup plus sévères à partir de 1993. On tend vers le «zéro défaut» pour les quelques espèces les plus dommageables dans les rotations et on évite de se faire déborder par les vivaces, favorisées par le non-labour.
Au terme de l'étude, le désherbage est bien maîtrisé dans le système. Mais le coût global en herbicides est peu différent de celui observé dans un système de référence bien raisonné, compte tenu du coût plus élevé consacré au contrôle des vivaces.

• *Les règles de décision*

Elles conditionnent le développement de ce type de système. Il ne s'agit plus d'application de «programmes» préétablis, mais bien de choix permanents, en cascade, cohérents, dans le cadre d'un objectif global. Sont posées à la fois des questions de fiabilité (bien apprécier le risque) et de faisabilité.
Pour l'étude, des règles de décisions ont été élaborées, en même temps que les itinéraires, et améliorées au fil du temps. Les «outils» à disposition (observations, modèles, kits de diagnostic...) sont plus ou moins nombreux et performants suivant les cultures. Mais l'ensemble des règles et outils permet à des expérimentateurs isolés de prendre des décisions à peu près homogènes entre sites.
Dans l'optique d'une large diffusion, il reste qu'une mise en œuvre satisfaisante de ce système suppose beaucoup d'observations et une bonne technicité. Un travail permanent de simplification des règles de décision est à poursuivre.

Figure 5. *Impact des systèmes intégrés sur quelques paramètres expérimentaux.*



• *Réduction d'intrants*

En moyenne, sur trois ans, les charges opérationnelles sont réduites de 18 à 31 %, par rapport à la référence. Il faut considérer ces chiffres comme un ordre de grandeur, le degré d'optimisation de la référence n'étant pas rigoureusement identique suivant les sites.
Les réductions d'intrants varient fortement d'une culture à l'autre. Elles sont très importantes sur blé, faibles sur pois ou betteraves par exemple. Suivant les sites, ce sont les fertilisants ou les phytosanitaires qui sont les plus réduits.
Les économies réalisées sur le poste phytosanitaire sont dues essentiellement aux fongicides. La réduction des quantités de matières actives apportées à l'hectare peut atteindre 40 % sur certaines rotations.

• *Rendement*

Les objectifs étaient calculés sur la base de - 15 % par rapport à la référence. Tous sites confondus, les rendements se situent en moyenne à - 12 % pour le blé tendre (- 10 à - 22) et à - 9 % (sites 1 et 2) pour le pois, ces deux cultures étant les plus représentées dans les rotations.
Les écarts types (donc la variabilité des rendements) sont peu différents entre systèmes. Ils sont, dans certains cas, légèrement supérieurs dans le système intégré.

• *Résultats économiques*

Ces résultats sont présenté dans la *figure 4*. La marge brute sur les rotations, en moyenne sur les trois dernières années, est très légèrement supérieure, en système intégré par rapport à la référence dans les sites 1-3-4, (respectivement + 105, + 165, + 302 F/ha). Elle est légèrement inférieure (- 187F/ha) dans le site 2, pour lequel la référence correspond à un sys-

Tableau 5. *Exemples de conduites de cultures intégrées.*

Culture	Blé tendre	Pois	Colza	Tournesol	Maïs	Orge de printemps
Milieu	Limon profond du nord de la France	Limon profond du nord de la France	Région Centre argilo-calcaire superficiel (30 cm)	Boulbène (Sud-Ouest) à faible potentialité	Plaine rhodanienne de la Drôme	Région Centre argilo-calcaire superficiel (30 cm)
Variétés	Soisson	Baccara	Bristol	Select	Cecilia	Prisma
Objectifs de rendement/ potentiel (q/ha)	70/ 100	50/ 75	25/ 35	20/ 25	110/ 140	44/ 55
Dates et densités de semis	après le 10/11 150 à 200 gr/ m^2	normale 50 gr/ m^2	fin août 80 gr/ m^2	5 à 6 gr/ m^2	20/4 au 1/5 72000 gr/ ha	15/02 350 gr/ m^2
Irrigation	Néant	Néant	Néant	Néant	4 mm/jour	Néant
Fertilisation azotée U/ ha	2 apports	0	2 apports : 120 à 140 (+ soufre)	50	130 à 150	65
Régulateurs	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
Fongicides	Contre rouille et septoriose 0 à 1 traitement	1 traitement	1 traitement	0 variété tolérante au phomopsis	Néant	Néant
Insecticides	Si nécessaire	Si nécessaire (2)	Si altises, charançons, pucerons (2)	1 ou 2 si pucerons	0	Si cnéphasia (1)
Herbicides	Contre vulpin, gaillet, folle avoine (1 ou 2)	1 ou 2 si nécessaire	1 à 2 (si graminées)	2 + 1 (si graminées)	1 à 2	Contre folle avoine, gaillet, chardon
Rendements obtenus (moy 3 ans minimum)	70	49,6	23	19,4	133	43

Source : Viaux (inédit).

tème à coût déjà très optimisé. Les marges directes qui tiennent compte des charges de mécanisations sont aussi sensiblement équivalentes. En résumé, il est possible, en l'état actuel des prix, de faire aussi bien que la référence. Mais les évolutions des prix des produits qui ont tendance à baisser vont favoriser à terme les systèmes intégrés. D'autre part, il existe des marges de progrès en systèmes intégrés. On a ainsi constaté que la maîtrise technique s'est améliorée au cours des trois dernières années.

• *Impact sur l'environnement (figure 5)*

L'impact de ces systèmes sur l'environnement est de plusieurs types : moindre risque de pollution par les pesticides et l'azote, moindre consommation d'énergie fossile, meilleure protection de l'activité biologique des sols. Comme nous l'avons déjà mentionné, on constate une diminution importante de l'utilisation des matières actives de produits phytosanitaire (*figure* ci-avant) et du nombre de passage. Cette comparaison a un sens dans la mesure où les types de matières actives utilisées sont sensiblement les mêmes entre conventionnel et intégré. On constate aussi une diminution de la quantité d'énergie fossile (directe : fuel, et indirecte : pour la fabrication des engrais, des machines, etc.) consommée par le système intégré et une efficience énergétique légèrement plus élevée (*figure 5*). Enfin, en ce qui concerne l'effet de ces systèmes sur l'activité biologique, il faudrait disposer d'importants moyens de recherche pour les mettre en évidence [22]. Les quelques travaux réalisés montrent que l'on observe des effets positifs sur les vers de terre, certains micro-arthropodes et la biomasse microbienne. Nous travaillons actuellement avec l'ACTA pour accroître nos connaissances sur ce sujet.

En conclusion de nos connaissances sur le système intégré, on peut analyser le *tableau 4* [23], qui montre une grande cohérence sur l'ensemble des études réalisées au niveau européen sur le thème, aussi bien du point de vue économique qu'agronomique ou environnemental.

Enfin, nous présentons à titre d'exemple quelques conduites de cultures intégrées (*tableau 5*) qui ont été expérimentées dans différents contextes pédo-climatiques. L'intérêt de ce tableau est de montrer que des itinéraires intégrés ont été testés dans des milieux très différents et sur de nombreuses grandes cultures. On remarque que les objectifs de rendements sont toujours inférieurs au potentiel pédo-climatique. Il est important de souligner que ces itinéraires techniques sont «calés» sur leur milieu et intègrent les risques potentiels de maladies, de ravageurs, etc.

Il faut retenir de ce tableau qu'un itinéraire intégré défini dans un contexte donné n'est pas «exportable» en l'état dans un autre milieu.

Conclusion : la mise en œuvre des systèmes intégrés

On l'aura compris, les systèmes intégrés sont une solution agronomique pour le développement d'une agriculture durable. Mais il existe encore de nombreux obstacles techniques à la mise en œuvre de ces systèmes. Les connaissances dans ce domaine sont limitées et, de plus, on manque cruellement de recherches sur l'écologie des agro-éco-systèmes. Par exemple, on ne sait pratiquement rien sur les phénomènes d'allélopathie, ces produits toxiques exsudés par les racines des plantes qui limitent le développement des adventices.

Le deuxième problème provient de la difficulté de transférer ces connaissances. Avec une approche «conventionnelle», on peut décrire une conduite de culture applicable à Lille ou à Toulouse. Le développement agricole de ces dernières décennies s'est fait en grande partie à partir de recettes faciles à transposer sur tout le territoire. La caractéristique des systèmes intégrés est qu'ils doivent être adaptés très précisément aux conditions de milieu, ce qui nécessite de ne pas appliquer des recettes mais que les agriculteurs comprennent les mécanismes biologiques de base. Dans le cadre des plans de développement durables (PDD), plusieurs petites régions se sont lancées dans une adaptation régionale des systèmes intégrés. Cependant, le transfert de connaissances plus fondamentales risque d'être lent.

Sur le plan économique, les gains à attendre sont très dépendants du niveau de prix des produits. Plus les prix baissent, plus l'intérêt économique pour l'agriculteur est grand. De toute façon, il y a un intérêt évident pour la collectivité à développer les systèmes intégrés. Pour être bien maîtrisés, les systèmes intégrés doivent faire appel à plus de connaissance et plus de surveillance des cultures. Or, la surveillance des cultures demande du temps. Les groupes d'agriculteurs qui se lancent dans l'approche des systèmes intégrés doivent donc s'organiser pour échanger vite et efficacement des informations leur permettant de prendre de bonnes décisions techniques.

Dans certains cas, des investissements spécifiques sont nécessaires (remodelage du parcellaire, implantation de haies, modification du drainage, etc.).

Enfin, les droits à produire, quota laitiers, quota betteraviers, quota de prime bovins ou ovins, primes/ha pour les céréales et les oléoprotéagineux, sont de réels obstacles pour faire évoluer certains éléments clés du système, à savoir la rotation et la «mixité».

Néanmoins, l'ensemble de ces obstacles n'est pas insurmontable, car le budget européen du FEOGA garanti (les aides directes pour les agriculteurs) est proche de 40 milliards d'euros (280 milliards de francs). Cet argent pourrait être un formidable levier pour orienter les pratiques des agriculteurs vers une agriculture plus durable.

RÉFÉRENCES

1. TIREL JC (1990). L'extensification : les concepts, les enjeux. In : *L'extensification, une forme de modernisation.* Séminaire, Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, DERF, 23-24 octobre 1990 : 8-12.
2. PIVETEAU V (1997). *Agriculture et environnement : les indicateurs.* Brochure IFEN, 72 pages.
3. CHOQUET JP (1996). Les bandes enherbées. In : Sources et ressources. *La Revue technique de la SAGEP,* 3, mai 1996.
4. National Research Council (1989) : Alternatives agriculture. Washington D.C. : National Academy Press, 447 pages.
5. DESCOTES A *et al.* (1997). La production intégrée en Champagne (programme VITI 2000) : effets comparés d'une conduite traditionnelle et d'une conduite intégrée sur l'agrosystème viticole, bilan des travaux réalisés depuis 1990. Tours : Conférence ANPP
6. EL TITI EF BOLLER, GENDRIER JP (1993). Production intégrée. Principes et directives techniques. *Bulletin OILB/SROP,* 97 pages.
7. VEREIJKEN P, VIAUX P (1990). Vers une agriculture «intégrée». *La Recherche,* 227 : 22-7.
8. VIAUX P (1995). Les systèmes intégrés, approche agronomique du développement agricole durable. *Aménagement et nature,* 117 : 31-44.
9. POLY J (1977). *Recherche agronomique - réalité et perspective.* Paris : INRA, 72 pages.
10. LIMAUX F (1991). Adaptation de la fertilisation azotée à des systèmes céréaliers moins intensifs : résultat en Lorraine sur petites terres à cailloux pour le blé d'hiver. Strasbourg : COMIFER, 26-28 septembre 1991.
11. MEYNARD J-M (1990). Mise au point d'itinéraires extensifs, exemple du blé d'hiver. In : *L'extensification une forme de modernisation* - Séminaire extensification. Dijon, 23-24 octobre 1990 : 131-6.
12. (1991). Simplification du travail du sol. INRA édition, 172 pages.
13. HÄNI F *et al.* (1990). Protection des plantes en production intégrée ; grandes cultures. Zollikoffen, CH : Inz (Centrale des moyens d'enseignement agricole), 330 pages.
14. EL TITI (1989). Farming system research at Lautenbarch, Oedheim, Germany. *Bulletin OILB/SROP/WPRS,* 12 : 21 36.
15. VEREIJKEN (1989). Experimental systems of intagrated and organic wheat production. *Agricultural systems ,*30 *: 187-97.*
16. WIJNANDS FG (1992). Evaluation and introduction of integrated arable farming in practice. *Netherands Journal of Agricultural Science,* 40 : 239-49.
17. MASSE J, VIAUX P, VERJUX N, RETAUREAU P, COTTET C. (1996). Experimentations au niveau de l'exploitation agricole: microfermes ou fermes pilotes. In : *Expérimenter sur les conduites de cultures : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation.* Paris : INA-PG, 10 janv 1996 : 99-114.
18. VIAUX P, LEMAITRE G, GOUET JP, ROBERT D (1994) Contribution méthodologique à l'étude des systèmes grande culture. In *: Recherches-système en agriculture et développement rural.* Montpellier, novembre 1994: 248-57.
19. JORDAN VWL, HUTCHEON JA, DONALDSON GV, FARMER DP (1995). Research into and development of integrated farming systems for less intensive arable crop production: progress 1989-1994. In *: Integrated crop protection: towards sustainability ?* Edinburgh : Symposium BCPC, septembre 1995 : 287-95.
20. VIAUX P, RIEU C (1995). Integrated farming systems and sustainable agriculture in France. In : *Integrated crop protection: towards sustainability?* Edinburgh : Symposium BCPC, septembre 1995 : 297-303.
21. VIAUX P, ROTURIER C, BOUCHET C (1993). Integrated arable farming systems in France. In : *Proceedings of conference on integrated arable farming systems.* Nitra, août 1993 : 24-33.
22. MATTHEY W, DELLA SANTA E, VANNENMACHER C (1984). Manuel pratique d'écologie. Lausanne : Payot, 250 pages.
23. HOLLAND J M, FRAMPTON GK, CILGI T, WRATTEN SD (1992). Arable acronyms analysed. A review of integrated arable farming systems research in Western Europe. *Ann Appl Biology,* 125 : 399-438.